



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 28 878 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 02 D 41/22**  
F 02 D 41/18  
F 02 M 35/10

②1 Aktenzeichen: 100 28 878.2  
②2 Anmeldetag: 10. 6. 2000  
④3 Offenlegungstag: 13. 12. 2001

DE 100 28 878 A 1

⑦1 Anmelder:  
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑦2 Erfinder:  
Drückhammer, Jens, Dr., 38108 Braunschweig, DE;  
Theuerkauf, Heinz J., 34119 Kassel, DE;  
Lichtenthäler, Dirk, 57290 Neunkirchen, DE

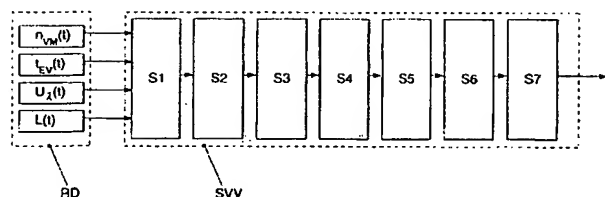
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 198 14 972 A1  
DE 44 21 950 A1  
DE 44 01 887 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Erkennung und Bewertung von Lecks im Saugrohr von Verbrennungsmotoren mit wenigstens einem Zylinder

⑤7 Ein Verfahren zur Erkennung und Bewertung von Lecks im Saugrohr von Verbrennungsmotoren mit wenigstens einem Zylinder in mehreren Schritten. Zunächst wird ein Luftmassenstromverlauf in den oder die Zylinder während einer Zeitspanne gemessen, wobei in dieser Zeitspanne unterschiedliche Drehzahlen und/oder Motorbelastungen auftreten. Parallel hierzu wird aus Stell-, Meß- oder Regelgrößen des elektronischen Steuergerätes ein theoretischer Luftmassenstromverlauf während der Zeitspanne geschätzt. Anschließend wird der Differenzverlauf zwischen dem theoretischen Luftmassenstromverlauf und dem gemessenen Luftmassenstromverlauf gebildet. Aus dem Differenzverlauf wird ein effektiver Leckquerschnitt im Saugrohr geschätzt.



DE 100 28 878 A 1

- [0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung und Bewertung von Lecks im Saugrohr von Verbrennungsmotoren.
- 5 [0002] Wenn sich bei einer Verbrennungskraftmaschine ein Leck im Saugrohr zwischen Drosselklappe und den Zylindern befindet, wird sogenannte "Falschluf" angesogen. Hierdurch kann die Luftmenge, die in die Zylinder gelangt, nicht mehr exakt geregelt werden, wodurch eine exakte Einstellung des Lambdawertes nicht mehr möglich ist. Eine genaue Einstellung des Lambdawertes ist für einen einwandfreien und insbesondere auch schadstoffarmen Motorbetrieb jedoch von zentraler Bedeutung.
- 10 [0003] In herkömmlichen bzw. in Serie befindlichen Steuergeräten werden Lecks im Saugrohr lediglich als allgemeiner Fehler im Bereich Gemischbildung/Lambda-Regelung detektiert. Die applizierten Diagnoseverfahren basieren u. a. auf den Adaptionfaktoren des Lambda-Regelkreises. Eine Differenzierung zwischen der Vielzahl möglicher Fehlerursachen findet dabei bisher nicht statt. Bei den bisherigen Diagnoseverfahren ist nicht feststellbar, ob der registrierte Fehler auf ein Saugrohrleck oder auf eine anderer Ursache zurückzuführen ist. Eine Abschätzung der Größe eines eventuell
- 15 im Saugrohr befindlichen Lecks ist demnach ebenfalls nicht möglich. Eine solche Kenntnis ist jedoch relevant, wenn zu entscheiden ist ob, und wenn ja, welche Reparaturmaßnahmen zu ergreifen sind.
- [0004] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur Leckerkennung im Saugrohr einer Verbrennungskraftmaschine zu schaffen, mittels dessen Lecks im Saugrohr zuverlässig erkannt und deren Größe abgeschätzt werden können.
- 20 [0005] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.
- [0006] Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf dem physikalischen Effekt, dass der Leckstrom durch einem konstanten Leckquerschnitt bei geringen Saugrohrdrücken besonders groß ist, während die in solchen Betriebspunkten auf regulärem Weg angesaugte Luftmasse relativ klein ist. Bei hohen Saugrohrdrücken ist hingegen der durch den Leckquerschnitt strömende Leckmassenfluss besonders gering, während die regulär angesaugte Luftmenge sehr hohe Werte annimmt.
- 25 [0007] Dieser Effekt wird dahingehend ausgenutzt, dass über eine gewisse Zeitspanne, in der unterschiedliche Drehzahlen auftreten, der Luftmassenstromverlauf hinter der Drosselklappe im Saugrohr gemessen und mit einem berechneten Luftmassenstromverlauf verglichen wird. Der sich hieraus ergebende Differenzverlauf wird dann dazu verwendet den effektiven Leckquerschnitt abzuschätzen.
- 30 [0008] Eine Beschränkung auf eine endliche Anzahl diskreter Werte innerhalb der Verläufe der gemessenen bzw. berechneten Größen gemäß Anspruch 2 trägt zur rechnerischen Handhabbarkeit des Problems bei.
- [0009] Die Anordnung der diskreten Werte in ein Raster gemäß Anspruch 3 und die Subtraktion von über alle oder mehrere Rasterfelder gemittelten Werte trägt zur Robustheit der Diagnose bei mit Störungen behafteten Messdaten bei.
- [0010] Weitere Vorteile ergeben sich aus den folgenden Unteransprüchen. Insbesondere durch den Einsatz von Neuronalen Approximatoren nach Anspruch 11 in Verbindung mit Anspruch 8 kann der numerische Rechenaufwand soweit gesenkt werden, dass die erfindungsgemäße Abschätzung des Leckquerschnitts auch auf einer Motor-ECU mit geringer Rechenleistung durchgeführt werden kann.
- 35 [0011] Die Erfindung wird nun anhand eines Beispiels mit Bezug auf die Figuren näher beschrieben.
- [0012] Es zeigen:
- 40 [0013] Fig. 1 ein schematisches Ablaufdiagramm der Signalvorverarbeitung und
- [0014] Fig. 2 ein schematische Ablaufdiagramm der Optimierung der Schwerpunkte.
- [0015] Das Diagnoseverfahren ist in Signalvorverarbeitung und Neuronale Mustererkennung gegliedert.
- [0016] In Fig. 1 ist die Signalvorverarbeitung SVV schematisch dargestellt. Als Eingangsgrößen RD dienen die Motordrehzahl  $n_{VM}(t)$ , die Einspritzzeit  $t_{EV}(t)$ , die Lambdaspaltung  $U_{\lambda}(t)$  und das Meßsignal  $L(t)$  zur Messung des Luftmassenflusses im Saugrohr eingesetzten Luftmassensensors.
- 45 [0017] Ausgewertet wird das Signal des Motordrehzahlgebers, die Lambda-Sonden-Spannung, die aktuellen Einspritzzeiten und das Meßsignal vom Luftmassenflusssensor. Alternativ zum Signal eines Luftmassensensors kann auch das Signal eines Saugrohrdrucksensors verwendet werden. Sowohl aus dem Signal eines Luftmassensensors als auch aus dem Signal einer Saugrohrdrucksonde kann der Luftmassenstrom  $\dot{m}_{L,DK}$  berechnet werden. Da die vier notwendigen Signale in allen gängigen elektronischen Motorsteuerungen vorhanden sind, werden für die Realisierung der Diagnosefunktion keine zusätzlichen Sensoren benötigt.
- 50 [0018] In einem ersten Verfahrensschritt S1 werden aus den dynamischen Verläufen der Eingangsgrößen statische Werte ermittelt. Dies wird wie folgt erreicht:
- Sowohl während der für Abgastests eingesetzten dynamischen Fahrzyklen, als auch während einer normalen Straßenfahrt ergeben sich Phasen in denen Drehzahl und Last über mehrere Arbeitsspiele in etwa konstant bleiben. Solche Phasen sind zur Ermittlung von statischen Werten geeignet. Zur Ermittlung solcher Phasen müssen für die Drehzahl und den Lastwert Schranken festgelegt werden, in denen sich die zur gleichen statischen Stützstelle, welche jeweils ein Wertepaar aus Drehzahl und Luftmassenstrom ist, zugehörigen Größen bewegen dürfen. Im ersten Verfahrensschritt S1 werden für solche "statischen" Stützstellen im Steuergerät die Mittelwerte der Größen Drehzahl, gemessener Luftmassenfluss, mittlere Einspritzzeit und das an der Lambdasonde gemessene Luftverhältnis gebildet.
- 55 [0019] Bei der Erstellung eines Diagnosetools kann zunächst ein für die in einem späteren Verfahrensschritt stattfindende Mustererkennung relevanter Drehzahl-/Lastbereich festgelegt werden. Dabei wird die Größe "Last" z. B. durch den gemessenen Luftmassenstrom charakterisiert. Der ausgewählte Drehzahl-/Lastbereich sollte nach folgenden Kriterien ausgewählt werden:
- 60
- Der ausgewählte Bereich sollte sowohl bei den gesetzlich festgelegten Abgastest-Fahrzyklen, als auch bei "normalem" Alltagsbetrieb möglichst gut mit statischen Stützstellen abgedeckt sein.
  - Die Steilheit der Leckmassenstromänderung sollte in dem ausgewählten Bereich möglichst groß sein.
- 65

[0020] In einem zweiten Verfahrensschritt S2 wird aus den während eines Fahrzyklusses ermittelten statischen Werten der Drehzahl  $n_{VM}$ , der Einspritzzeit  $t_{EV}$  und des Luftverhältnisses  $\lambda$ , die im relevanten Last-/Drehzahlbereich liegen, der theoretische Gesamtluftmassenstrom  $\dot{m}_{L,th}$  in die Zylinder abgeschätzt. Hierfür kann beispielsweise ein Statisches Neuronales Netz (SNN) der folgenden Form verwendet werden:

$$\hat{m}_{L,th} = SNN(n_{VM}, t_{EV}) \cdot \lambda \quad (1)$$

mit  $\lambda = f(U_{\lambda,VK})$ ,

wobei  $U_{\lambda,VK}$  die Lambda-Spannung einer Lambdasonde ist, welche sich im Rohabgasstrom, also vor einem eventuell vorhandenen Katalysator, befindet.

[0021] Die Differenz zwischen dem geschätzten theoretischen Luftmassenstrom in dem die Zylinder  $\hat{m}_{L,th}$  und dem gemessenen Luftmassenstrom  $\hat{m}_{L,DK}$  entspricht dem Leckmassenstrom  $\hat{m}_{L,Leck}$ :

$$\hat{m}_{L,Leck} = \hat{m}_{L,th} - \hat{m}_{L,DK} \quad (2)$$

[0022] Diese Differenz wird im dritten Verfahrensschritt S3 berechnet.

[0023] Für die Musterauswertung in dem ausgewählten Bereich wird im vierten Verfahrensschritt S4 sowohl die Drehzahlachse, als auch die Luftmassenstromachse in eine zu wählende Anzahl von Teilabschnitten aufgeteilt, die in der Drehzahl/Luftmassenstrom-Ebene ein Rasterfeld aufspannen. Die Mittelpunkte der Rasterfelder sind durch die  $i \times j$  Matrix mit  $i, j = m$

$$M = \begin{bmatrix} (n_1, \dot{m}_{L,1}) & (n_2, \dot{m}_{L,1}) & (n_3, \dot{m}_{L,1}) & \dots & (n_i, \dot{m}_{L,1}) \\ (n_1, \dot{m}_{L,2}) & (n_2, \dot{m}_{L,2}) & (n_3, \dot{m}_{L,2}) & \dots & (n_i, \dot{m}_{L,2}) \\ (n_1, \dot{m}_{L,3}) & (n_2, \dot{m}_{L,3}) & (n_3, \dot{m}_{L,3}) & \dots & (n_i, \dot{m}_{L,3}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (n_1, \dot{m}_{L,j}) & (n_2, \dot{m}_{L,j}) & (n_3, \dot{m}_{L,j}) & \dots & (n_i, \dot{m}_{L,j}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

gegeben, wobei die  $n_{1...i}$  gewählte Drehzahlen und die  $\dot{m}_{L,1...j}$  gewählte Luftmassenströme sind.

[0024] Im Verfahrensschritt S5 wird jeder nach Gleichung (2) abgeschätzte Leckmassenstrom  $\hat{m}_{L,Leck}$  dem Rasterfeld in M zugeordnet, zu dessen Mittelpunkt der aus Drehzahl und Luftmassenstrom gebildete Lastwert den kleinsten Abstand hat. Liegt für jedes der  $m$  Rasterfelder in (3) mindestens ein geschätzter Leckmassenstromwert  $\hat{m}_{L,Leck}$  vor, so wird zur Ermittlung der Luftmassenstrom-Differenzwerte  $\Delta \dot{m}_{L,1...m}$  in den  $m$  Rasterfeld-Mittelpunkten aus den  $m$  Leckmassenstromwerten  $\hat{m}_{L,Leck}$  eine Interpolations-Funktion benötigt. Empirische Untersuchungen haben ergeben, dass für den funktionalen Zusammenhang

$$\hat{m}_{L,Leck,1...m} = f(n_{VM,1...m}, t_{EV,1...m}) \quad (4)$$

die spezielle Form der Ebenengleichung

$$\hat{m}_{L,Leck,1...m} = a \cdot n_{VM,1...m} + b \cdot t_{EV,1...m} \quad (5)$$

besser geeignet ist, als die allgemeine Ebenengleichung

$$\hat{m}_{L,Leck,1...m} = a \cdot n_{VM,1...m} + b \cdot t_{EV,1...m} + c. \quad (6)$$

[0025] Die Parameter  $a$  und  $b$  der Ausgleichsebene können nach der "Methode der kleinsten Quadrate" (Least Squares) ermittelt werden. Mit Hilfe der erhaltenen Ebenengleichung (5) können dann die geschätzten Luftmassenstrom-Differenzwerte  $\Delta \dot{m}_{L,1...m}$  in den Rastermittelpunkten im Verfahrensschritt S6 berechnet werden (vgl. Matrix M aus Gleichung (3)):

$$\Delta \dot{M}_L = \begin{bmatrix} \Delta \dot{m}_{L,1,1} & \Delta \dot{m}_{L,2,1} & \Delta \dot{m}_{L,3,1} & \dots & \Delta \dot{m}_{L,i,1} \\ \Delta \dot{m}_{L,1,2} & \Delta \dot{m}_{L,2,2} & \Delta \dot{m}_{L,3,2} & \dots & \Delta \dot{m}_{L,i,2} \\ \Delta \dot{m}_{L,1,3} & \Delta \dot{m}_{L,2,3} & \Delta \dot{m}_{L,3,3} & \dots & \Delta \dot{m}_{L,i,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta \dot{m}_{L,1,j} & \Delta \dot{m}_{L,2,j} & \Delta \dot{m}_{L,3,j} & \dots & \Delta \dot{m}_{L,i,j} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Mit:  $\Delta \dot{m}_{L,x,y} = a \cdot n_x + b \cdot t_{e_{x,y}}$   
 $x \in N, \quad 1 < x < i, \quad y \in N, \quad 1 < y < j$

[0026] Prüfstandsmessungen und Praxistests haben gezeigt, dass Luftmassenstromwerte und Einspritzzeiten in vielen Fällen noch mit Offsets behaftet sind. Ein Grund für einen solchen Offset kann z. B. ein Temperatur-Drift des Luftmassenmessers sein, der entweder durch eine relativ hohe oder eine relativ niedrige Ansauglufttemperatur verursacht wird. Ähnliche Auswirkungen wie ein Offset direkt am Luftmassenmesser hat noch eine Anzahl anderer Faktoren, wie Verschmutzungen an den Einspritzventilen, unterschiedliche Kraftstoffqualitäten usw. Bei einer schlechteren Kraftstoffqualität kommt es zu einem Anstieg der Einspritzzeit. Dieser Anstieg müßte für gleiche Luftmassenwerte bei unterschiedlichen Drehzahlen in etwa den gleichen prozentualen Wert haben. Leider verhindert hier die nichtlineare Kennlinie der Einspritzventile einen exakt gleichen prozentualen Einspritzzeit-Anstieg.

[0027] Das Problem der Offsets wird deshalb auf folgende Weise gelöst: Die zu den Luftmassenstrom-Differenzwerten  $\Delta \dot{m}_L$  zugehörigen Luftmassenstromwerte  $\dot{m}_{L,DK}$  am Luftmassenmesser sind in der Matrix  $\Delta \dot{M}_L$  aus Gleichung (8) jeweils zeilenweise konstant (vgl. Gleichung (3)). Ein für jeweils gleiche Luftmassenstromwerte  $\dot{m}_{L,DK}$  gleiches Offset der Luftmassenmessung hat auf alle Werte einer Zeile also die gleichen Auswirkungen. Solche Offsets können durch Subtraktion des Mittelwerts aller Elemente einer Zeile von den einzelnen Zeilenelementen eliminiert werden:

$$\Delta \dot{M}_N = \begin{pmatrix} \Delta \dot{m}_{N,1,1} & \Delta \dot{m}_{N,2,1} & \Delta \dot{m}_{N,3,1} & \dots & \Delta \dot{m}_{N,i,1} \\ \Delta \dot{m}_{N,1,2} & \Delta \dot{m}_{N,2,2} & \Delta \dot{m}_{N,3,2} & \dots & \Delta \dot{m}_{N,i,2} \\ \Delta \dot{m}_{N,1,3} & \Delta \dot{m}_{N,2,3} & \Delta \dot{m}_{N,3,3} & \dots & \Delta \dot{m}_{N,i,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \Delta \dot{m}_{N,1,j} & \Delta \dot{m}_{N,2,j} & \Delta \dot{m}_{N,3,j} & \dots & \Delta \dot{m}_{N,i,j} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Mit: 
$$\Delta \dot{m}_{N,x,y} = \Delta \dot{m}_{L,x,y} - \frac{1}{i} \sum_{k=1}^i \Delta \dot{m}_{L,k,y}$$
  
 $x \in N, 1 < x < i, y \in N, 1 < y < j$

Dies geschieht im Verfahrensschritt S7.

[0028] Die so erhaltenen Matrizenelemente  $\Delta \dot{m}_{N,1,1}, \dots, \Delta \dot{m}_{N,i,j}$  sollen dazu verwendet werden mittels eines Neuroapproximators den effektiven Leckdurchmesser abzuschätzen. Es empfiehlt sich jedoch nicht alle Matrizenelemente von  $\Delta \dot{M}_N$  als Eingänge des Neuroapproximators zu verwenden, sondern mehrere Matrizenelemente zu jeweils einem Eingang zusammenzufassen. Würde man alle Matricelemente als einzelne Eingänge verwenden, so träten die unter dem Begriff "Fluch der Dimensionen" bekannten Problemstellungen auf. Im Verfahrensschritt S8 werden deshalb die Dimensionen des Musters reduziert.

[0029] Für die Abtastung des erhaltenen Musters mit einer frei wählbaren Anzahl von  $n_E$  Neuro-Approximator-Eingängen kann z. B. eine entsprechende Anzahl von Schwerpunkten im untersuchten Drehzahl-/Luftmassenstrombereich beliebig festgelegt werden. Alle Elemente der  $\Delta \dot{M}_N$ -Matrix werden in jedem Schwerpunkt entsprechend des Abstandes zu diesem Schwerpunkt mit einer Gauss-Kurve nach Gleichung (9) gewichtet. Für den rten Eingang gilt:

$$W_r = \begin{pmatrix} w_{r,1,1} & w_{r,2,1} & w_{r,3,1} & \dots & w_{r,i,1} \\ w_{r,1,2} & w_{r,2,2} & w_{r,3,2} & \dots & w_{r,i,2} \\ w_{r,1,3} & w_{r,2,3} & w_{r,3,3} & \dots & w_{r,i,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{r,1,j} & w_{r,2,j} & w_{r,3,j} & \dots & w_{r,i,j} \end{pmatrix} \quad (9)$$

mit:

$$w_{r,x,y} = e^{-\frac{1}{\sigma} \sqrt{\left( \frac{\dot{m}_{L,x,y} - \dot{m}_{S,r}}{\dot{m}_N} \right)^2 + \left( \frac{n_{x,y} - n_{S,r}}{n_N} \right)^2}}$$

und  $r \in N, 1 < r < n_E, x \in N, 1 < x < i, y \in N, 1 < y < j$

Luftmassenflußschwerpunkte der  $n_E$  Eingänge:

$$\dot{m}_{S,1}, \dot{m}_{S,2}, \dot{m}_{S,3}, \dots, \dot{m}_{S,n_E}$$

Drehzahlschwerpunkte der  $n_E$  Eingänge:

$$n_{S,1}, n_{S,2}, n_{S,3}, \dots, n_{S,n_E}$$

Normierung des Luftmassenstroms:

$$\dot{m}_N = \frac{\sup(\dot{m}_L) - \inf(\dot{m}_L)}{n_E}$$

Normierung der Drehzahl:

$$n_N = \frac{\sup(\bar{n}) - \inf(\bar{n})}{n_E}$$

[0030] Für jeden Schwerpunkt erhält man also eine Wichtungsmatrix  $W_n$ , mit der die Elemente von  $\Delta M_N$  gewichtet werden. Da diese Wichtungsmatrizen, nachdem sie in dieser Weise festgelegt wurden, konstant gehalten werden, können die Matrizen-Werte im Steuergerät abgespeichert werden und müssen nicht online berechnet werden.

[0031] Für den Wert des  $r$ -ten Eingangs gilt folgende Berechnung:

$$i_r = \text{Spur}(W_r^T \cdot \Delta M_N) \quad (10)$$

[0032] Die Signalvorverarbeitung ist nun abgeschlossen. Die hierbei erhaltenen Werte (vgl. Gleichung 10) werden nun klassifiziert, das heißt aus ihnen wird die Größe eines eventuellen Lecks abgeschätzt. Eine solche Klassifikation ist grundsätzlich mit unterschiedlichen Methoden und Verfahren möglich. Dazu gehören auch Mustererkennungs-Verfahren, da, wie oben beschrieben, die Größe des Leckmassenstroms in Abhängigkeit von der Drehzahl typische Verläufe aufweist.

[0033] Eine Möglichkeit zur Klassifikation besteht in der Verwendung von Neuro-Klassifikatoren. Solche Neuro-Klassifikatoren, die z. B. auf einem einfachen statischen Multi-Layer-Perceptron basieren, lassen sich automatisiert parametrieren und sind für die vorliegende Aufgabe besonders geeignet. Die Struktur des Multi-Layer-Perceptrons – vor allem die Parameter "Anzahl der Eingänge" und "Anzahl der Wichtungen" – müssen dabei aber jeweils mit Hilfe empirischer Untersuchungen optimiert werden. Als Ausgangsgröße des Multi-Layer Perceptrons kann die Querschnittsfläche des Lecks verwendet werden. Da der geschätzte Leckquerschnitt fehlerbehaftet ist, bedarf der vom Neuro-Approximator geschätzte Leckquerschnitt in der Regel noch einer Signalnachverarbeitung. Ein bestimmter diagnostizierter Leckquerschnitt sollte vom Steuergerät nur dann als Fehler angezeigt werden, falls der diagnostizierte Leckquerschnitt einen hinreichenden Sicherheitsabstand zum Schätzfehler hat. Weiterhin ist auch eine mehrfache Wiederholung der Diagnose mit neuen Meßwerten sinnvoll. Die unterschiedlichen Schätzwerte können dabei statistisch ausgewertet werden.

[0034] Es wird nun noch dargestellt, wie die Lage der Schwerpunkte optimiert werden kann. Wie in Fig. 2 dargestellt, werden zunächst die Rohdaten der Signalvorverarbeitung zugeführt (s. auch Fig. 1). Mittels der Signalvorverarbeitung werden sowohl Trainings- als auch Validierungsdaten erzeugt. Mit den Trainingsdaten wird der oben beschriebene Neuroklassifikator trainiert, das heißt der Neuroklassifikator lernt die von ihm später zu erkennenden Muster. Mit den Validierungsdaten wird dann der Neuroklassifikator getestet. Die Ergebnisse dieses Tests werden einem genetischen Algorithmus unterzogen. Sind die Ergebnisse unbefriedigend, wird die Lage der Schwerpunkte in der Signalvorverarbeitung verschoben und der Zyklus erneut durchlaufen. Die Schleife wird abgebrochen, wenn die Ergebnisse des Neuroklassifikatortests eine ausreichend hohe Qualität aufweisen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung und Bewertung von Lecks im Saugrohr von Verbrennungsmotoren mit folgenden Schritten:

- Messen wenigstens eines Luftmassenstromverlaufs und des zugehörigen Verlaufs weiterer Meß-/Stell- und Regelgrößen der elektronischen Motorsteuerung während einer Zeitspanne, in der unterschiedliche Drehzahlen und Motorlasten auftreten,
- Schätzen wenigstens eines theoretischen Luftmassenstromverlaufs während der Zeitspanne aus den Stell-, Meß- und/oder Regelgrößen der elektronischen Motorsteuerung,
- Bilden eines Differenzverlaufes zwischen dem theoretischen Luftmassenstromverlauf und dem gemessenen Luftmassenstromverlauf,
- Verwendung der Differenzverlaufs zur Schätzung eines effektiven Leckquerschnitts im Saugrohr.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Verläufen der gemessenen und berechneten und/oder geschätzten Größen eine Mehrzahl diskreter Werte erzeugt und zur Schätzung des effektiven Leckquerschnitts verwendet wird.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte in Abhängigkeit von mindestens einer Lastgröße in ein Raster sortiert werden.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass aus den diskreten Differenzwerten Interpolationsgeraden bzw. Interpolationsebenen gebildet werden, deren Eigenschaften zur Schätzung des effektiven Leckquerschnitts verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass nach einer oder mehreren Lastgrößen sortierten Differenzwerten oder daraus gebildete Interpolationswerte auf das Vorliegen bestimmter Muster untersucht werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein spezieller Drehzahl-/Lastbereich so ausgewählt wird, dass der Betrag der Ableitung der Differenzwerte nach ausgewählten Lastgrößen innerhalb dieses Bereichs möglichst große Werte annimmt.

7. Verfahren nach einem Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eventuelle Offsets und/oder Sensorfehler durch Subtraktion des Mittelwerts der Differenzen zwischen gemessenen und geschätzten Luftmassenströmen bei ähnlicher Last aber unterschiedlicher Drehzahl beseitigt werden.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das durch die Gesamtzahl der interpolierten oder gemessenen Funktionswerte der Rasterpunkte gebildete Muster mit nur einigen wenigen Schwerpunkten ausgewertet wird, wobei die einzelnen Funktionswerte der Rasterpunkte jeweils gemäß ihres Abstandes von dem je-

weiligen Schwerpunkt gewichtet werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass Schwerpunkte mit Hilfe genetischer Algorithmen oder sonstiger Suchalgorithmen ermittelt werden.

5 10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Fuzzy-Techniken zur Schätzung des effektiven Leckquerschnitts eingesetzt werden.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Neuronaler Approximator zur Schätzung des effektiven Leckquerschnitts eingesetzt wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

U

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

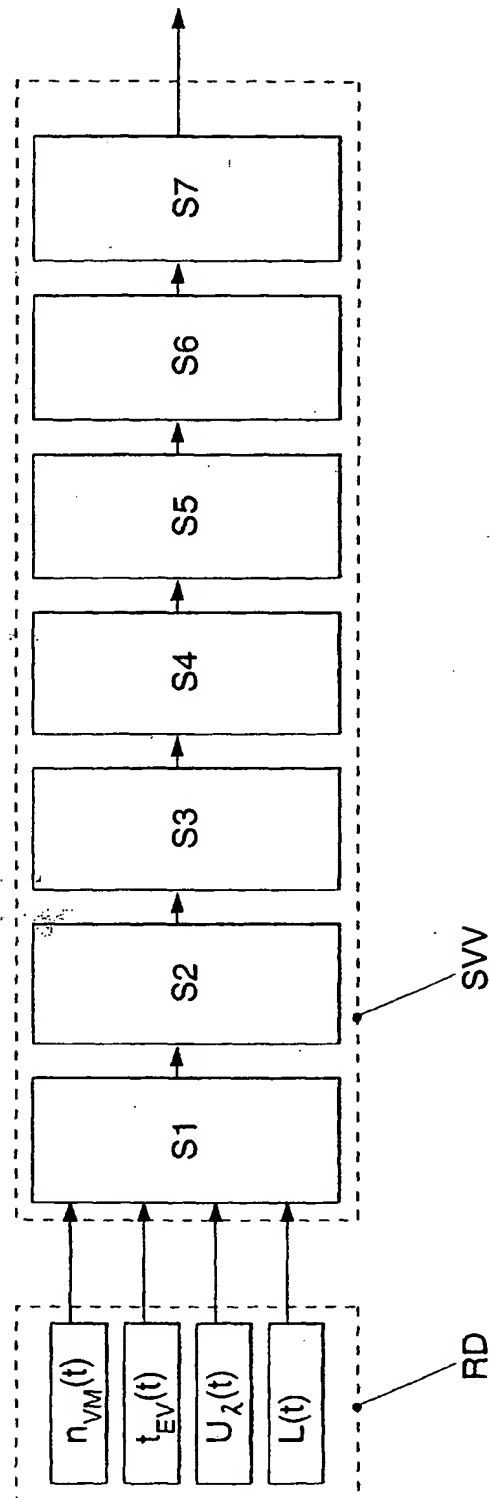


FIG. 1

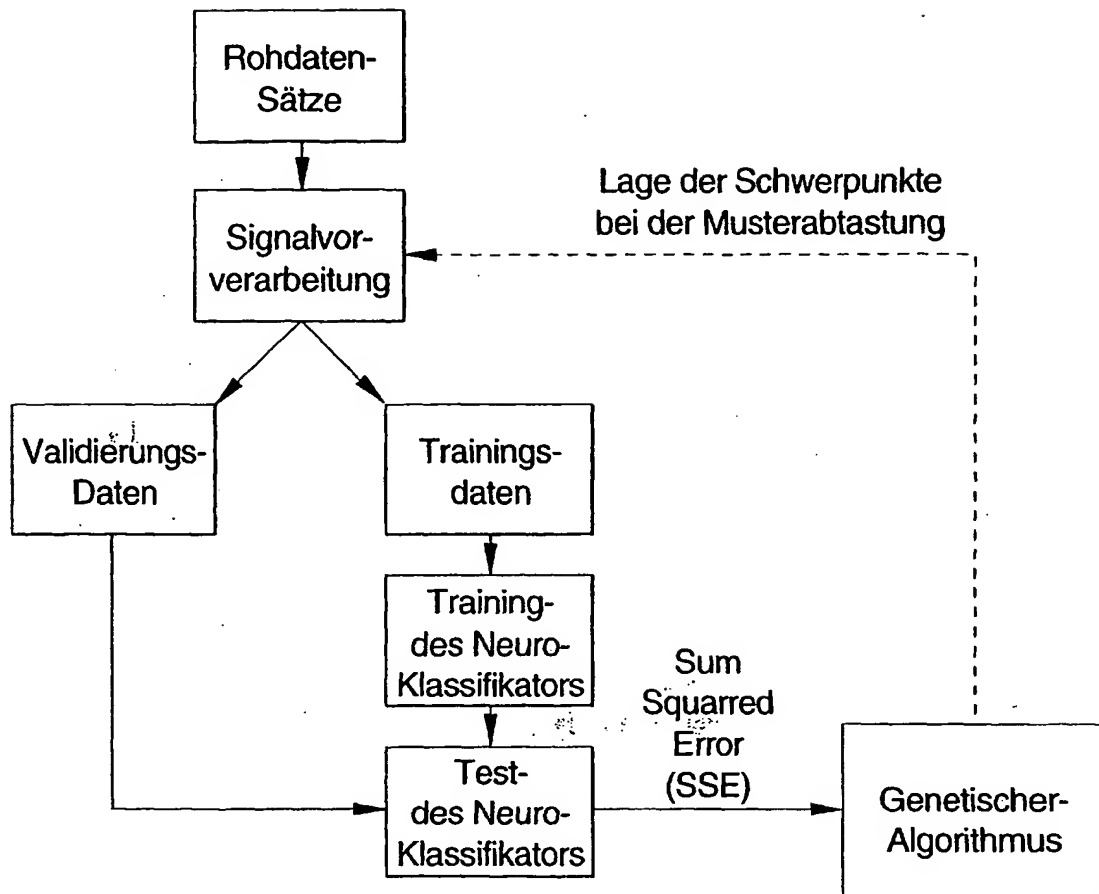


FIG. 2